

Analisis Perhitungan Kebutuhan *Zinc Anode* sebagai Proteksi Katodik pada Lambung Kapal *Crane Barge* di PT XYZ

Agus Dwiyanto^{*1}, Tiwi Gustria Ningsih^{1*} and Hanifah Widiastuti^{2*}

* Politeknik Negeri Batam

Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan

Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam29461, Indonesia

¹E-mail: agusdwiyanto0801@gmail.com

Abstrak

Korosi merupakan salah satu permasalahan utama pada struktur kapal yang terbuat dari baja, terutama pada bagian lambung kapal yang selalu berinteraksi langsung dengan air laut. Sifat air laut yang korosif dapat mempercepat penurunan kekuatan material dan mengurangi umur operasional kapal. Salah satu metode yang efektif untuk mencegah korosi adalah proteksi katodik menggunakan anoda korban. Dalam penelitian ini dilakukan analisis perhitungan kebutuhan *zinc anode* sebagai sistem proteksi katodik pada lambung kapal *Crane Barge* sepanjang 68,40 meter di PT XYZ. Penelitian menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan deskriptif melalui observasi lapangan, wawancara dengan pihak *Production Manager Team (PMT)*, serta perhitungan berdasarkan standar BKI 2014 dan DNV-RP-B401. Hasil analisis menunjukkan bahwa kebutuhan total *zinc anode* pada kapal adalah 52 buah, dengan jarak antar anoda sebesar 8,24 meter agar distribusi arus proteksi merata pada seluruh permukaan lambung. Berat total *zinc anode* yang diperlukan sebesar 473,07 kg. Dari hasil perbandingan massa plat tanpa perlindungan dan dengan perlindungan *zinc anode*, diperoleh penurunan kehilangan massa dari 47,42 ton menjadi 15,81 ton selama 5 tahun masa operasi, atau efisiensi pengurangan korosi sebesar 66,66%. Dengan demikian, penerapan proteksi katodik menggunakan *zinc anode* terbukti efektif, ekonomis, dan mampu memperpanjang umur struktur lambung kapal secara signifikan, terutama untuk kapal yang beroperasi di lingkungan laut tropis dengan tingkat salinitas tinggi.

Kata kunci: Korosi, Proteksi Katodik, Zinc Anode, Crane Barge, BKI 2014, DNV-RP-B401

Abstract

Corrosion is one of the major problems in steel ship structures, particularly on the hull, which is constantly exposed to seawater. The corrosive nature of seawater accelerates the deterioration of the material's strength and shortens the vessel's operational lifespan. One of the most effective methods to prevent corrosion is the use of cathodic protection with a sacrificial anode system. This study analyzes the calculation of zinc anode requirements as a cathodic protection system for the 68,40 meter Crane Barge hull at PT XYZ. The research employs a quantitative descriptive approach through field observations, interviews with the Production Manager Team (PMT), and calculations based on the BKI 2014 and DNV-RP-B401 standards. The analysis results indicate that the total zinc anodes required for the vessel are 52 units, with an optimal spacing of 8,24 meters to ensure uniform current distribution across the hull surface. The total required weight of zinc anodes is 473,07 kg. Based on the comparison between unprotected and zinc anode protected hull plates, the material mass loss was reduced from 47,42 tons to 15,81 tons over a 5 year period, achieving a corrosion reduction efficiency of 66,66%. Therefore, the implementation of cathodic protection using zinc anodes is proven to be effective, economical, and capable of significantly extending the hull's service life, particularly for vessels operating in tropical marine environments with high salinity levels.

Keywords : Corrosion, Cathodic Protection, Zinc Anode, Crane Barge, BKI 2014, DNV-RP-B401

1 Pendahuluan

Dalam dunia industri maritim, galangan kapal memiliki peran yang sangat penting dalam mengembangkan transportasi laut dalam suatu negara. Laut sendiri merupakan wilayah terluas di permukaan bumi yang terdiri dari air asin yang memiliki sifat korosif. Air laut ini menjadi salah satu penyebab utama kerusakan pada pelat kapal. Oleh karena itu, kapal yang banyak menggunakan bahan besi dan baja pasti akan mengalami proses korosi.

Korosi adalah penurunan kualitas logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungan, yang ditandai dengan hilangnya material logam di area yang terpapar. Korosi dapat terjadi karena beberapa faktor, diantaranya adalah air dan kelembapan udara. Air dan kelembapan merupakan faktor penting dalam proses terjadinya korosi, karena logam akan lebih mudah mengalami korosi jika berada di lingkungan yang lembap atau mengandung banyak uap air. Selain itu, keberadaan elektrolit seperti asam atau garam juga mempercepat proses korosi. Elektrolit berperan sebagai media transfer muatan yang memudahkan oksigen di udara untuk mengikat elektron dari logam. Misalnya, air hujan yang mengandung asam dan air laut yang mengandung garam dapat mempercepat terjadinya korosi pada logam. Faktor lainnya adalah terbentuknya sel elektrokimia, yaitu ketika dua logam yang memiliki perbedaan potensial saling bersentuhan dalam lingkungan yang berair atau lembab. Dalam kondisi ini, logam dengan potensial lebih rendah akan melepaskan elektron dan mengalami oksidasi, sehingga korosi lebih cepat terjadi pada logam tersebut [1].

Bagian bawah kapal atau biasa disebut lambung kapal (*hull*) adalah salah satu struktur dasar di bawah air yang langsung mengalami kontak dengan air laut. Karena sifat air laut yang korosif, kapal yang digunakan sebagai alat transportasi laut harus diberikan perlindungan yang efektif untuk mengurangi laju korosi yang sangat tinggi pada bagian lambung kapal. Salah satu metode yang dapat mengurangi korosi adalah proteksi katodik. Proteksi katodik adalah metode yang digunakan untuk mencegah atau memperlambat korosi pada logam dengan mengubah potensial elektroda logam tersebut sehingga menjadi lebih negatif, sehingga logam yang dilindungi berperan sebagai katoda dalam sel elektrokimia dan tidak mengalami reaksi oksidasi. Cara kerja proteksi katodik dengan anoda korban seperti *zinc anode* dapat dipahami melalui konsep sel korosi basah, dimana anoda bertindak sebagai bagian yang dikorbankan dengan mengalami korosi, sementara logam yang dilindungi tetap aman dari kerusakan. *Zinc anode* ini secara efektif melindungi struktur logam kapal dengan mengorbankan dirinya sendiri sehingga mencegah pelapukan pada pelat lambung kapal akibat reaksi kimia dengan air laut [2].

Korosi secara elektrokimia dapat diilustrasikan dengan reaksi antar ion logam dengan molekul air. Mula-mula akan terjadi hidrolisis yang akan mengakibatkan keasaman meningkat. Hal ini dapat diterangkan dengan persamaan berikut : $M^+ + H_2O \rightarrow MOH + H^+$ Persamaan ini menggambarkan reaksi hidrolisis yang umum, dimana pada elektrolit yang sebenarnya akan terdapat peran klorida yang penting tetapi akan menjadi rumit untuk diuraikan. Kecenderungan yang rendah dari klorida untuk bergabung dengan ion-ion hydrogen dalam air mendorong menurunnya pH larutan elektrolit. Pada umumnya proses pengkaratan terjadi dari proses elektro kimia, yang mekanismenya sama dengan yang terjadi di dalam baterai batu center. Hal ini dapat diterangkan dengan persamaan berikut. Pada mangkuk seng terjadi reaksi oksidasi. $Zn \rightarrow Zn^{++} + 2e$ (Reaksi anoda) Sedangkan pada elektroda karbon terjadi reaksi reduksi $H^+ + 2e \rightarrow H_2$ gas (Reaksi katoda) Akibat oksidasi metal tersebut metal Zn diubah menjadi ion Zn yang terhidrasi (*Hydrated Zincions*) $Zn^{2+} nH_2O$. Semakin besar arus yang terjadi semakin banyak metal Zn yang menjadi ion sehingga metal seng kehilangan massa atau dengan kata lain seng kehilangan massa atau dengan kata lain berkarat [3].

Penggunaan *zinc anode* sebagai sistem proteksi katodik pada lambung kapal memiliki sejumlah keuntungan yang menjadikannya banyak diterapkan pada kapal baja yang beroperasi di lingkungan laut. *Zinc anode* bekerja sebagai anoda korban yang secara elektrokimia lebih aktif dibandingkan baja, sehingga mampu melindungi struktur lambung kapal dari proses korosi dengan mengorbankan dirinya sendiri. Sistem ini relatif mudah dipasang, tidak memerlukan sumber energi listrik eksternal, serta memiliki biaya instalasi dan perawatan yang lebih rendah dibandingkan sistem proteksi katodik arus paksa. *Zinc anode* menghasilkan distribusi arus proteksi yang cukup merata dan memiliki risiko overprotection yang rendah, sehingga aman bagi lapisan pelindung (*coating*) dan struktur baja kapal. Pemeliharaannya juga tergolong sederhana karena kondisi anoda dapat dipantau secara visual dan diganti secara berkala sesuai umur pemakaian.

Ada beberapa jenis logam yang umum sering digunakan sebagai anoda korban yaitu Magnesium (Mg), Seng (Zn), Aluminium (Al), dan logam paduan (misalnya magnesium-aluminium). Magnesium cocok digunakan sebagai anoda korban di lingkungan yang kurang konduktif seperti tanah. Logam Aluminium mempunyai potensial besar untuk dijadikan anoda korban, akan tetapi logam Aluminium memiliki efisiensi yang rendah. Logam seng yang digunakan sebagai anoda korban harus memiliki kemurnian yang tinggi [4].

Penentuan standar acuan menjadi hal yang sangat penting agar hasil perhitungan dan penerapan lapangan sesuai dengan ketentuan klasifikasi yang berlaku. *Det Norske Veritas (DNV)* melalui dokumen *DNV-RP-B401 Cathodic Protection Design* memberikan pedoman teknis internasional yang mencakup prinsip dasar, metode perhitungan

kebutuhan arus proteksi, faktor pemakaian anoda, efisiensi elektrokimia, serta estimasi umur desain sistem anoda korban (DNV,2005). Panduan ini banyak digunakan di berbagai sistem katodik terhadap laju korosi baja di lingkungan laut [5].

Sementara itu, Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) sebagai lembaga klasifikasi nasional juga menetapkan aturan yang tercantum dalam *BKI Rules for the Classification and Construction 2014 Volume II Section 38*, yang mengatur tentang ketentuan sistem proteksi katodik, termasuk masa umur proteksi minimal, jenis anoda yang diperbolehkan, dan perhitungan faktor keamanan pada kapal berbendera Indonesia [6].

Pemilihan standar BKI 2014 sebagai acuan kapal tersebut dirancang dan dibangun mengacu pada ketentuan BKI 2014, sehingga penggunaan standar yang sama bertujuan untuk menjaga konsistensi teknis antara desain awal kapal, data lapangan. BKI 2014 masih memberikan panduan yang jelas dan aplikatif mengenai perhitungan proteksi katodik menggunakan anoda korban, termasuk ketentuan umur proteksi, jenis anoda, dan faktor keamanan yang relevan untuk kapal kerja. Adapun BKI 2021 merupakan pembaruan regulasi yang lebih menitik beratkan pada integrasi standar internasional terbaru serta pengembangan sistem proteksi katodik yang lebih kompleks, seperti *Impressed Current Cathodic Protection (ICCP)* dan pendekatan berbasis risiko. Penerapan standar tersebut memerlukan data teknis dan sistem pendukung yang tidak sepenuhnya tersedia pada kapal eksisting yang diteliti. Penggunaan BKI 2014 dinilai lebih tepat, representatif, dan dapat dipertanggungjawabkan secara teknis untuk analisis kebutuhan *zinc anode* pada penelitian ini dengan didukung oleh standar internasional DNV-RP-B401 [5][6].

Proteksi katodik dengan *zinc anode* dilakukan dengan menghubungkan *zinc anode* ke material yang ingin dilindungi, sehingga material tersebut berperan sebagai katoda dalam sel korosi. Logam seng, yang memiliki potensial lebih negatif, berfungsi sebagai anoda dan melepaskan elektron yang mengalir melalui kabel ke katoda. Dengan penerimaan elektron ini, katoda mengalami reaksi yang melindungi material dari korosi.

Sistem proteksi katodik banyak digunakan untuk memproteksi struktur baja yang berada di lingkungan air laut, dan sedikit digunakan (pada kondisi tertentu) untuk penempatan baja dalam air laut. Dalam banyak kasus, penerapan proteksi katodik sering dikombinasikan dengan *coating*. Tujuannya adalah untuk melindungi baja pada saat *coating* mengalami kerusakan [7].

Proteksi katodik metode anoda zinc dapat dilakukan dengan menghubungkan anoda zinc terhadap material yang akan diproteksi. Material yang akan diproteksi diatur agar berperan sebagai katoda dalam suatu sel korosi dan pasangan yang dihubungkan adalah logam lain yang memiliki potensial yang lebih negatif sehingga berperan sebagai anoda. Elektron akan mengalir dari anoda ke katoda melalui kabel penghubung sehingga terjadi penerimaan elektron di katoda. Dengan adanya penerimaan elektron tersebut, katoda mengalami reaksi reduksi dan terproteksi dari proses korosi. Berikut adalah kelebihan penerapan sistem proteksi katodik metode anoda zinc [7].

- A) Pemasangan relatif mudah dan murah
- B) Tidak membutuhkan sumber energi listrik dari luar
- C) Distribusi arus merata
- D) Cocok untuk daerah berstruktur padat
- E) Tidak membutuhkan biaya operasional
- F) Perawatan mudah
- G) Resiko overprotection rendah

Namun metode ini juga mempunyai beberapa kekurangan sebagai berikut:

- A) Keluaran arus terbatas
- B) Tidak efektif bila resistivitas elektrolit tinggi

Kelebihan penerapan proteksi katodik dengan metode *zinc anode* meliputi kemudahan dan biaya pemasangan yang relatif rendah, tidak memerlukan sumber energi listrik eksternal, distribusi arus yang merata, cocok untuk struktur padat, tanpa biaya operasional, perawatan yang mudah, dan risiko overprotection yang rendah. Namun, metode ini juga memiliki kekurangan, yaitu keluaran arus yang terbatas, kurang efektif pada elektrolit dengan resistivitas tinggi, serta tidak cocok untuk struktur besar yang membutuhkan arus proteksi besar [8].

Pada Kapal *Crane Barge* 68,40 meter, yang digunakan sebagai anoda korban untuk menghindari korosi pada kapal adalah *zinc anode*. *Zinc anode* pelindung anti karat yang terbuat dari seng dan bekerja dengan metode proteksi katodik mekanisme pengorbanan permukaannya. *Zinc anode* memiliki banyak partikel elektronegatif yang bereaksi sehingga anoda tersebut akan habis teroksidasi, hal ini membuat pelat lambung kapal tetap terlindungi dari karat. Untuk memaksimalkan fungsi *zinc anode* dalam mencegah korosi, penggunaannya harus secara rutin diperiksa dan diganti setelah periode tertentu. Dalam penelitian terkait, yang dianalisis meliputi jumlah *zinc anode* yang diperlukan, jarak, umur, dan berat *zinc anode*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kebutuhan *zinc anode* pada kapal Crane barge 68,40 meter. Selain ini, penelitian ini juga menghitung massa plat yang dilindungi *zinc anode* dan plat yang tidak dilindungi oleh *zinc anode*, dengan menganalisis data penggunaan *zinc anode* di lapangan serta hasil perhitungan kebutuhan *zinc anode*.

2 Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan oleh penulis adalah metode penelitian kuantitatif dengan pendekatan deskriptif yaitu jenis penelitian yang menggunakan data numeric (kuantitatif) untuk menggambarkan atau menjelaskan fenomena yang sedang diteliti.

Data Ukuran Kapal

Dalam penelitian pada kapal *Crane Barge* 68,40 meter, adapun data ukuran utama kapal tersebut yaitu :

Tabel 1 Ukuran Data Kapal

<i>Type Kapal</i>	<i>Crane Barge</i>
<i>LOA</i>	68,40 meter
<i>LPP</i>	65,925 meter
<i>Breadth</i>	24 meter
<i>Draught</i>	2,40 meter
<i>Depth</i>	4,80 meter

Perbandingan *Zinc Anode* dan *Aluminium Anode*

Tabel 2 Perbandingan *Zinc Anode* dan *Aluminium Anode*

Parameter	<i>Zinc Anode</i>	<i>Aluminium Anode</i>
Potensial elektrokimia (vs Ag/AgCl)	-1,05 V	-1,10 s.d. -1,20 V
Kapasitas arus efektif	± 780 Ah/kg	± 2500 Ah/kg
Efisiensi elektrokimia	± 90%	± 95% - 98%
Berat untuk proteksi setara	Lebih berat	Lebih ringan (sekitar 1/3 berat <i>zinc</i>)
Densitas logam	7,13 g/cm ³	2,70 g/cm ³
Cocok untuk media	Air laut, air payau	Air laut, air payau (kurang cocok untuk air tawar)
Tingkat pasivasi (penonaktifan)	Rendah	Tinggi (bisa pasif tanpa activator)
Harga per kg	Sedang (lebih murah per kg)	Lebih mahal per kg
Lingkungan operasi optimal	Suhu moderat, konduktivitas stabil	Lingkungan laut luas dengan konduktivitas tinggi
Kandungan berbahaya (Cd.Hg)	Kadang mengandung Cd (tergantung pabrikan)	Umumnya bebas Cd dan Hg, lebih ramah lingkungan

Zinc Anode lebih unggul dalam kemudahan instalasi, biaya rendah, dan stabilitas arus proteksi di lingkungan tropis, sehingga cocok untuk kapal *Crane Barge* 68,40 meter di PT XYZ. Sementara aluminium anode menawarkan efisiensi dan kapasitas arus yang lebih tinggi, namun dengan biaya lebih besar dan risiko pasivasi yang harus dikendalikan dengan penambahan activator. Dengan mempertimbangkan kondisi operasi kapal, ketersediaan material, dan regulasi BKI 2014, penggunaan *zinc anode* merupakan pilihan yang paling tepat dan praktis untuk sistem proteksi katodik pada lambung kapal.

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan di Kapal *Crane Barge* 68,40 meter yang dilakukan di PT XYZ.



Gambar 1 Kapal *Crane Barge* 68,40 meter

Tahap Pengambilan Data

1. Observasi dalam penelitian ini adalah observasi langsung atau terjun langsung ke lapangan untuk mencari subjek yang akan diteliti.
2. Wawancara menanyakan data ukuran kapal dan spesifikasi *zinc anode* yang digunakan untuk mengisi perhitungan yang dibutuhkan, wawancara dilakukan dengan salah satu *Production Manager Team (PMT)* selaku *Hull Crane Barge ship supervisor*.
3. Studi pustaka yaitu pengumpulan data dari informasi-informasi internet dan mencari referensi perhitungan yang akan dianalisis

Pengolahan Data

1. Umur pergantian proteksi yang dibutuhkan dicantumkan sesuai dengan aturan BKI 2014, *Rules Volume II Section 38*
2. Rumus yang diperlukan peneliti untuk perhitungan jarak antar *zinc anode*.
Adapun rumus perhitungan *zinc anode* menurut: “Mahendra & Setiono (Ihza Mahendra & Dwisetiono, 2022)”, yaitu :

$$JAK = \frac{Lpp}{\sum AKtotal}$$

Keterangan :

- JAK : Jarak antar *zinc anode* (meter)
 - Lpp : Panjang kapal antara garis tegak (*Length between perpendiculars*) (meter)
 - $\sum AKtotal$: Jumlah total *zinc anode* yang dipasang di bagi 2 (karena anoda dipasang di kedua sisi lambung kapal)
3. Adapun rumus yang diperlukan peneliti untuk perhitungan jumlah *zinc anode* yang diperlukan
Adapun rumus perhitungan *zinc anode* menurut: “Sudjasta (Sudjasta es al., 2018)”, yaitu :

$$N = \frac{M}{W}$$

Keterangan :

- N : Jumlah anoda (pcs)
 - M : Berat total anoda (kg)
 - W : Berat per anoda (kg)
4. Rumus yang diperlukan penelitian untuk perhitungan berat *zinc anode*
Adapun rumus perhitungan *zinc anode* menurut: “Mahendra & Setiono (Ihza Mahendra & Dwisetiono, 2022)”, yaitu :

$$M_G = \frac{Ic \times T \times 8760}{\mu \times \epsilon}$$

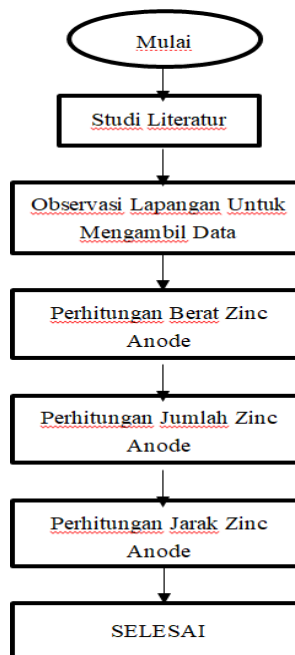
Keterangan :

- M_G : Berat total zinc anode (kg)
- I_c : Kebutuhan arus proteksi (Ampere), dihitung dari luas permukaan yang dilindungi dikalikan arus proteksi per m^2
- T : Periode perlindungan (tahun)
- 8760 : Jumlah jam dalam setahun (24 jam x 365 hari)
- ϵ : Efisiensi elektrokimia *zinc anode*
- μ : Faktor utilisasi anode

Rumus-rumus ini digunakan untuk melakukan perhitungan dalam pengolahan data yang telah disusun, dan dilanjutkan dengan penulisan analisis data dan pembahasan

Flowchart

Berikut adalah *flowchart* yang menggambarkan tahapan penelitian perhitungan kebutuhan *zinc anode* pada lambung kapal *Crane Barge* 68,40 meter di PT XYZ



Gambar 2 *Flowchart*

3 Analisa Data dan Pembahasan



Gambar 3 *Zinc Anode Kapal Crane Barge 68,40 meter*

Anode korban yang digunakan kapal *Crane Barge* 68,40 meter adalah *zinc anode* dengan bentuk Tipe *Bolted* (B-series). Informasi mengenai *zinc anode* ini diperoleh dari hasil wawancara dengan salah satu *Production Manager Team* (PMT) selaku *Hull Crane Barge ship supervisor*. Data *zinc anode* yang didapat dari hasil wawancara yang dilakukan dengan salah satu *Hull Crane Barge ship supervisor* di PT XYZ yaitu :

Tabel 3 Spesifikasi Zinc Anode

Type	Bolted
Series	B9E
Ukuran Zinc Anode	300x150x40mm
Weight	11 Kg

Umur Proteksi

Umur proteksi yang dibutuhkan sesuai dengan aturan BKI (*Biro Klasifikasi Indonesia*) 2014 adalah minimal 5 tahun untuk system proteksi katodik aktif (*impressed current system*) dan 1-3 tahun untuk anoda korban (*sacrificial anode*).

Perhitungan Kebutuhan Zinc Anode

“Berdasarkan referensi Sunarto & Septian (Sunarto & Septian, 2015)” Untuk mengetahui perhitungan kebutuhan zinc anode pada pelat lambung kapal *Crane Barge* 68,40 meter berikut adalah perhitungan yang diperlukan :

1. Perhitungan Permintaan Arus (I_c)

$$I_c = A_c \times f_c \times i_c$$

Dimana :

I_c : Permintaan arus (Ampere)

A_c : Area yang akan diproteksi (m²)

f_c : Faktor kerusakan lapisan (Ampere)

i_c : Faktor desain arus densitas (Ampere/m²)

Untuk area yang akan diproteksi dapat diperoleh dengan menggunakan rumus:

$$A_c = (2T+B) \times L_oa \times p$$

Dimana :

L_oa : Panjang keseluruhan kapal (m)

T : Sarat air (m)

B : Lebar kapal (m)

P : Faktor

Maka :

$$A_c = (2T+B) \times L_oa \times p$$

$$A_c = (2 \times 2,4 + 24) \times 68,40 \times 0,85$$

$$A_c = (4,8 + 24) \times 68,40 \times 0,85$$

$$A_c = 28,8 \times 68,40 \times 0,85$$

$$A_c = 1.674,432 \text{ m}^2$$

Untuk perhitungan faktor kerusakan lapisan dapat dihitung dengan rumus:

$$f_c = k_1 + k_2 \frac{t_f}{2} (\text{Ampere})$$

Dimana:

k_1 : 0,02 (DNV RPB401)

k_2 : 0,015 (DNV RPB401)

t_f : Umur proteksi = 5 tahun (BKI)

Maka :

$$f_c = k_1 + k_2 \frac{t_f}{2} (\text{Ampere})$$

$$f_c = 0,02 + 0,015 \times \frac{5}{2}$$

$$f_c = 0,0575 (\text{Ampere})$$

Tabel 4 Konstanta (k1 dan k2)

Depth (m)	Coating Category		
	I (k ₁ = 0,10)	II (k ₁ = 0,05)	III (k ₁ = 0,02)
	k ₂	k ₂	k ₂
0-30	0,10	0,03	0,015
>30	0,05	0,02	0,012

Keterangan :

Category I : Satu lapis, lapisan primer min 50 µm DFT (*Dry Film Thickness*)

Category II : Satu lapis, lapisan primer ditambah satu lapis, lapisan tengah atas 150-250 µm nominal DFT

Category III : Satu lapis, lapisan primer ditambah min 2 langkah menengah / atas min 300 µm nominal DFT

Pengecatan / coating kapal biasanya menggunakan satu lapis dasar (*primer*) dengan tambahan dua lapis menengah atau lapis atas, dengan ketebalan kering (*nominal DFT*) minimal 300 µm sesuai *category III*

Untuk menentukan nilai *desain arus densitas* dapat diperoleh dari Tabel 5.

Tabel 5 Desain Arus Densitas

Depth (m)	Tropical (>20°C)	Suhu Tropical (12-20°C)	Beriklim Sedang (7-12°C)	Sangat Dingin (<7°C)
0-30	0,070	0,080	0,100	0,120
>30-100	0,060	0,070	0,080	0,100
>100-300	0,070	0,080	0,090	0,110
>300	0,090	0,100	0,110	0,110

Menurut DNV 2010 6.7.4 di daerah *Tropical* (rata-rata suhu permukaan laut >20°C) direkomendasikan sebagai perkiraan yang cukup konservatif untuk perhitungan. Nilai resistansi anoda di air laut dan sedimen laut memiliki nilai yang berbeda-beda, namun kedalamannya tidak mempengaruhi resistansi tersebut.

Berdasarkan Tabel 5 di atas, desain arus disesuaikan dengan kondisi *Tropical* dengan temperature >20°C dan depth 0-30 m, maka nilai keperluan *desain arus densitas* adalah 0,070 Ampere/m²

Maka untuk nilai kebutuhan arus proteksi adalah :

$$lc = Ac \times fc \times ic$$

Dimana :

$$Ac : 1674,432 \text{ m}^2$$

$$fc : 0,0575 \text{ (Ampere)}$$

$$ic : 0,070 \text{ Ampere/m}^2 \text{ (DNV RPB401)}$$

Kebutuhan arus proteksi yang diperoleh :

$$lc = Ac \times fc \times ic$$

$$lc = 1674,432 \times 0,0575 \times 0,070$$

$$lc = 6,7396 \text{ Ampere}$$

Tabel 6 Data Perhitungan

Ac (m ²)	1674,432
lc (Ampere)	6,7396
fc (Ampere)	0,0575
k ₁	0,02
k ₂	0,015
ic (Ampere/m ²)	0,070

2. Perhitungan Berat Zinc Anode

“Berdasarkan Mahendra & Setiono (Ihza Mahendra & Dwi setiono, 2022)” Berat *zinc anode* dapat diperoleh menggunakan rumus :

$$M_G = \frac{lc \times T \times 8760}{\mu \times \varepsilon}$$

Dimana :

- M_G : Berat *zinc anode* (Kg)
 lc : Kebutuhan Arus proteksi (Ampere)
 T : Umur proteksi (tahun), 5 tahun (BKI)
 μ : Faktor guna *zinc anode*
 ε : *Electrochemical efficiency* (Ah/Kg)

Nilai *electrochemical efficiency* menunjukkan kemampuan suatu logam anoda dalam menghasilkan muatan listrik per satuan berat selama proses proteksi berlangsung. Berdasarkan standar referensi, aluminium memiliki efisiensi jauh lebih tinggi dibandingkan seng. Aluminium mampu memberikan arus proteksi yang lebih besar dengan berat anoda yang lebih ringan, sedangkan seng memerlukan jumlah anoda lebih banyak. Dalam perhitungan massa *zinc anode* dapat dilihat di Tabel 7.

Tabel 7 Nilai *Electrochemical Efficiency*

Macam Material Anoda	<i>Electrochemical efficiency</i> (Ah/Kg)
Al (Aluminium)	2000
Zn (Seng)	780

Sedangkan umur faktor guna *zinc anode* tergantung ukuran *zinc anode*. Pada tabel 8 adalah desain faktor *zinc anode*

Tabel 8 Faktor *Guna Anoda*

Tipe Anoda	Faktor Guna Anoda
<i>Long¹⁾ slender Stand off</i>	0,9
<i>Long¹⁾ flush-mounted</i>	0,85
<i>Short²⁾ flush-mounted</i>	0,80
<i>Bracelet. Half Shell Type</i>	0,80
<i>Bracelet, Segmented Type</i>	0,75

Data faktor guna *zinc anode* yang digunakan dengan tipe *anoda short²⁾ flush mounted* yaitu 0,80 karena panjang anoda < 4 x tebal dan pemasangan anoda menempel rata (sejajar)

Sehingga :

$$M_G = \frac{lc \times T \times 8760}{\mu \times \varepsilon}$$

$$M_G = \frac{6,7396 \times 5 \times 8760}{0,80 \times 780}$$

$$M_G = \frac{295194,48}{624}$$

$$M_G = 473,068 \text{ Kg}$$

Dari data yang ada maka diketahui kebutuhan berat *zinc anode* dibutuhkan pada kapal *crane barge 68,40 m* adalah 473,068 Kg

3. Perhitungan Jumlah Zinc Anode

“Menurut Sudjasta (Sudjasta es al., 2018)” Menghitung untuk menentukan jumlah *zinc anode* yang diperlukan pada *crane barge* sepanjang 68,40 meter dengan ukuran *zinc anode* 300x150x40 mm dan berat tiap unit sebesar 10,6 kg

$$N = \frac{M}{W}$$

Keterangan :

- N : Jumlah anoda (pcs)
 M : Berat total anoda (kg)
 W : Berat per anoda (kg)

Sehingga :

$$N = \frac{M}{W}$$

$$N = \frac{473,068}{11}$$

N = 43 buah

Penambahan *zinc anode* untuk tempat-tempat kritis dan sebagai faktor keamanan 20%, maka jumlah *zinc anode* yang dipasang adalah :

N total = 43+20% = 52 buah

Jadi, jumlah *zinc anode* yang diperlukan pada kapal *Crane Barge* 68,40 meter adalah 52 buah, dan dipasang masing-masing 16 buah pada lambung kanan dan lambung kiri pada kapal, 36 buah dipasang di bawah lambung yang terkena air laut.

4. Perhitungan Jarak antar Zinc Anode

“Menurut Mahendra & Setiono (Ihza Mahendra & Dwisetiono, 2022)” Jumlah total *zinc anode* yang dibutuhkan pada kapal *Crane Barge* 68,40 meter adalah 43 buah *zinc anode*, yang dipasang di seluruh bagian lambung kapal yang terkena air laut. Untuk menentukan jarak antar *zinc anode*, dapat menggunakan rumus perhitungan yang sesuai untuk memastikan distribusi proteksi katodik yang optimal pada kedua sisi lambung kapal dengan menggunakan rumus.

$$JAK = \frac{Lpp}{\sum AKtotal}$$

Dimana :

JAK : Jarak antar *zinc anode*

Lpp : Panjang kapal antara garis tegak (*Length between perpendiculars*) (meter)

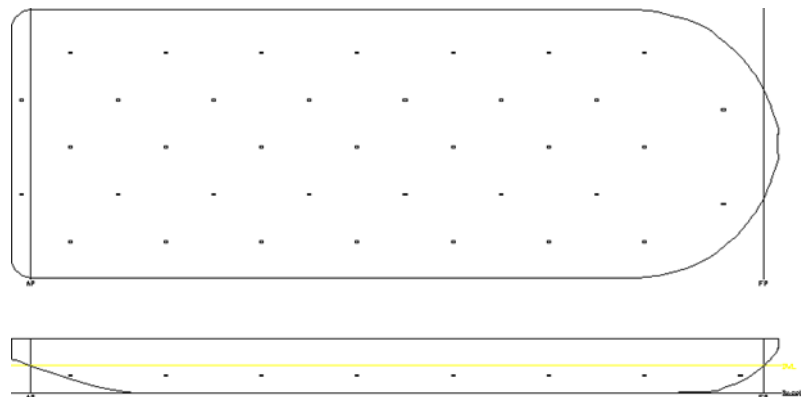
$\sum AKtotal$: Jumlah *zinc anode* yang dipasang dibagi 2 (karena anode dipasang di kedua sisi lambung)

Sehingga :

$$JAK = \frac{Lpp}{\sum AKtotal}$$

$$JAK = \frac{65,925}{8}$$

JAK = 8,2406 meter



Gambar 4 Desain Lokasi *Zinc Anode* pada Kapal

Gambar diatas adalah pandangan samping dan atas sebagai ilustrasi letak pemasangan *zinc anode* sesuai perhitungan berjumlah 52 buah yang dipasang masing-masing 16 buah pada lambung kanan dan lambung kiri pada kapal, 36 buah dipasang di bawah lambung yang terkena air laut.

5. Perhitungan Massa Plat tanpa Perlindungan dan Perlindungan *Zinc Anode*

“Menurut Susilowati & Simbolon (Susilowati & Simbolon, 2019)” Perhitungan massa plat baja yang mengalami korosi dilakukan untuk dua kondisi, yaitu tanpa perlindungan dan dengan perlindungan *zinc anode*. Tujuan adalah untuk mengetahui efektivitas perlindungan katodik terhadap laju kehilangan massa akibat korosi.

1. Massa Plat tanpa Perlindungan

$$W = \frac{Cr \times D \times T \times A}{K}$$

Dimana :

Cr : Massa Plat tanpa perlindungan

D : Densitas untuk baja (7,87 g/m³)

T : Waktu (jam)

K : Konstanta $8,76 \times 10^4$

A : Luas permukaan = $1826,091 \text{ m}^2 = 18260910 \text{ cm}^2$

Sehingga :

$$W = \frac{Cr \times D \times T \times A}{K}$$

$$W = \frac{0,66 \times 7,87 \times 43800 \times 18260910}{8,76 \times 10^4}$$

$$W = \frac{4154465860023,6}{8,76 \times 10^4}$$

$$W = 47425409,361 \text{ gram}$$

$$W = 47425409,361 : 1000000$$

$$W = 47,42541 \text{ ton}$$

2. Massa Plat Perlindungan *Zinc Anode*

$$W = \frac{Cr \times D \times T \times A}{K}$$

Dimana :

Cr : Massa Plat tanpa perlindungan

D : Densitas untuk baja ($7,87 \text{ g/m}^3$)

T : Waktu (jam)

K : Konstanta $8,76 \times 10^4$

A : Luas permukaan = $1826,091 \text{ m}^2 = 18260910 \text{ cm}^2$

Sehingga :

$$W = \frac{Cr \times D \times T \times A}{K}$$

$$W = \frac{0,22 \times 7,87 \times 43800 \times 18260910}{8,76 \times 10^4}$$

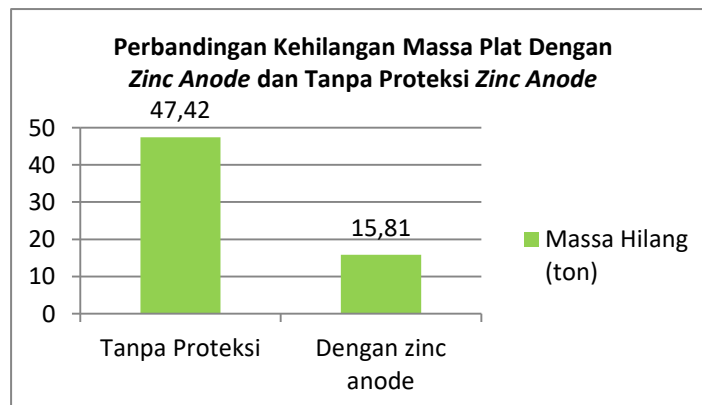
$$W = \frac{1384821953341,2}{8,76 \times 10^4}$$

$$W = 15808469,787 \text{ gram}$$

$$W = 15808469,787 : 1000000$$

$$W = 15,80847 \text{ ton}$$

Massa plat baja tanpa perlindungan dihitung berdasarkan estimasi kehilangan massa akibat korosi selama 43800 jam (5 tahun) yaitu mendapatkan massa 47,42541 ton dan sedangkan massa plat yang perlindungan *zinc anode* selama 43800 jam (5 tahun) yaitu mendapatkan massa 15,80847 ton



Gambar 5 Perbandingan Kehilangan Massa Plat

Hal ini menunjukkan bahwa penerapan sistem proteksi katodik mampu menekan laju korosi hingga lebih dari 60%. Kita bisa hitung penurunan kehilangan massa (dalam persen) dengan rumus efisiensi pengurangan korosi yaitu :
Persentase Penurunan = $\frac{W1-W2}{W1} \times 100\% = \frac{47,42-15,81}{47,42} \times 100\% = \frac{31,61}{47,42} \times 100\% = 0,6666 \times 100\% = 66,66\%$ serta dapat memperpanjang umur struktur baja kapal secara signifikan. Secara keseluruhan, penggunaan *zinc anode* sebagai

sistem proteksi katodik memberikan solusi yang praktis, ekonomis, dan efektif dalam menjaga keandalan struktur lambung kapal di lingkungan laut, dengan catatan bahwa pemeriksaan dan penggantian anoda secara berkala perlu dilakukan agar sistem proteksi tetap optimal dalam jangka waktu yang panjang.

4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian “Analisis Perhitungan Kebutuhan *Zinc Anode* sebagai Proteksi Katodik pada Lambung Kapal *Crane Barge* di PT XYZ”, dapat disimpulkan bahwa korosi pada lambung kapal merupakan permasalahan utama yang dapat menurunkan umur konstruksi secara signifikan. Penerapan sistem proteksi katodik menggunakan *zinc anode* terbukti efektif dalam menghambat laju korosi, terutama pada kapal yang beroperasi di lingkungan laut tropis dengan tingkat salinitas dan suhu tinggi. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kebutuhan total *zinc anode* yang dipasang masing-masing 16 buah di sisi kanan dan kiri lambung kapal serta 36 buah di bagian bawah lambung yang terendam air laut. Jarak antar *zinc anode* sebesar 8,24 meter telah dirancang agar distribusi arus proteksi katodik merata pada seluruh permukaan lambung kapal. Dari hasil analisis massa plat baja, diketahui bahwa tanpa perlindungan *zinc anode* massa plat mengalami kehilangan sebesar 47,42 ton selama lima tahun, sedangkan dengan perlindungan *zinc anode* kehilangan massa hanya sebesar 15,81 ton.

5 Daftar Pustaka

- [1] T. Karyono, Budinto, and R. G. Pamungkas, “Analisis Teknik Pencegahan Korosi Pada Lambung Kapal dengan Variasi Sistem Pencegahan ICCP Dibandingkan dengan SACP,” *J. Pendidik. Prof.*, vol. 6, no. 1, pp. 7–17, 2017, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval/article/view/8599>
- [2] T. Ihza Mahendra and D. Dwisetiono, “Proteksi Katodik Menggunakan Zinc Anode Untuk Menghambat Korosi Pada Lambung Kapal Port Link Vii Jakarta,” *Zo. Laut J. Inov. Sains Dan Teknol. Kelaut.*, pp. 7–12, 2022, doi: 10.62012/zl.v3i2.19694.
- [3] Sunarto and D. Septian, “Analisa Kebutuhan Anoda Korban Seng Pada PlatBottom Kapal Di Pt. Indonesia Marina Shipyard,” *J. keilmuan dan Terap. Tek.*, vol. 4, no. 1, pp. 92–108, 2015.
- [4] A. Goffar, “Rancangan Dasar Perhitungan Proteksi Katodik dengan Menggunakan Anoda Korban Pada Struktur Baja Anjungan Minyak di Lingkungan Air Laut,” *Lembaran Publ. Miny. dan gas bumi*, vol. 45, no. 1, pp. 79–90, 2022, doi: 10.29017/lpmgb.45.1.686.
- [5] D. N. V. DNV-RP-B401, “Dnv-Rp-B401 Cathodic Protection Design,” *Computer (Long. Beach. Calif.)*, no. January, 2005, [Online]. Available: <https://www.engr.mun.ca/~sbruneau/teaching/8751ocean/DNV cathode design.pdf>
- [6] BKI, “Rules for the Classification and 2014 Edition Biro Klasifikasi Indonesia,” vol. II Section, 2014, [Online]. Available: <https://desainkapal.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/12/bki-vol-ii-rules-for-hull-2014.pdf>
- [7] B. Sudjasta, P. J. Suranto, H. Setiani, P. Studi, T. Perkapalan, and J. Selatan, “MENCEGAH KOROSI PADA LAMBUNG KAPAL KAPAL GENERAL,” vol. 14, pp. 209–215, 2018.
- [8] F. S. Afriani, “Proteksi Katodik Metoda Anoda Tumbal Untuk Mengendalikan Laju Korosi,” *Jom FTEKNIK*, vol. 1, no. 2, p. 1, 2014, [Online]. Available: <https://media.neliti.com/media/publications/205981-proteksi-katodik-metoda-anoda-tumbal-unt.pdf>